

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

2013

Iiro Nieminen

CROSSKART-AJONEUVON ETUJOUSITUSGEOMETRIAN TUTKIMINEN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Iiro Nieminen

CROSSKART-AJONEUVON ETUJOUSITUSGEOMETRIAN TUTKIMINEN

Tässä työssä tutkitaan crosskart-ajoneuvon etujousitusgeometriaa ja suoritetaan analysointi muutoskohteiden selvittämiseksi. Analysointi suoritetaan nelipyöräsuuntauslaitteella saatujen mittaustulosten perusteella. Ensiksi esitellään tutkimuksen kohteena oleva ajoneuvo, tämän jälkeen kerrotaan alustageometriaan liittyvistä suureista ja niiden raja-arvoista kirjallisuuden perusteella. Viimeiseksi mittaustuloksia analysoidaan kirjallisuuspohjaan verraten.

Tutkimuksen kohteena on crosskart-ajoneuvo, joka on nelipyöräinen putkirunkoinen kilpa- ja hupikäyttöön rakennettu ajoneuvo. Ajoneuvo on varustettu 600-kuutioisella moottoripyörän moottorilla.

Kyseessä oleva ajoneuvo ei perustu minkään olemassaolevan kilpa-autoluokan sääntöihin eikä siltä vaadita tieliikennekelpoisuutta, joten mahdollisia muutoksia voitiin pohtia täysin vapaasti. Tavoitteena on löytää kohteet joita pitää kehittää parempien ajo-ominaisuuksien ja kääntyvyyden mahdollistamiseksi.

Mittaustulosten perusteella voidaan päätellä, että muutoksia vaativia kohteita on ainakin kaksi. Tukivarsien keskinäiset pituussuhteet sekä ohjausvaihteen sijainti. Camber-muutoksen todettiin olevan positiiviseen suuntaan sisäänjouston aikana eli kirjallisuuteen pohjautuen väärään suuntaan, camber-kulman perusasetus $-3,0^{\circ}$ on oikeaa suuruusluokkaa. Aorauskulmamuuotos on mittaustulosten perusteella hyvin suuri, aouruksen vaihdellessa $0,66^{\circ}$:n harituksesta $11,57^{\circ}$:een aourukseen.

ASIASANAT:

Jousitusgeometria, jousitus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering | Practically Oriented

2013 | Total number of pages 23

Instructor Kalevi Vesterinen

Iiro Nieminen

A STUDY ON THE FRONT SUSPENSION GEOMETRY OF A CROSSCART VEHICLE

This thesis was about studying and analyzing the front suspension geometry of a crosscart vehicle. The analysis was based on the results of fourwheel alignment. The goal was to determine the parts that needed to be redesigned to achieve better handling and turning capabilities. First the vehicle is introduced and then suspension geometry terms are discussed based on literature about chassis design. After that the actual measurements that were made are introduced. Lastly, the thesis presents the conclusions and figures that were made about the collected data.

The crosscart is made of a tubular chassis with an engine of a motorcycle for racing and entertainment purposes. The crosscart examined in this thesis is purely for entertainment purposes so its structure is not restricted by any regulations or laws. This allows any changes required to achieve better geometry.

Two main objects to be changed or developed were found during the analysis. The length of the control arms should be altered because in the existing structure the upper control arm is longer than the lower control arm causing the unwanted camber change to the positive direction under jounce. The location of the steering rack is the second thing requiring some development. The steering rack is located in a wrong place in relation to the control arms causing unnecessarily great toe in/ toe out changes during jounce.

KEYWORDS:

suspension, geometry

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 CROSSKART-AJONEUVO	7
3 JOUSITUSGEOMETRIAN SELOSTUS	9
3.1 Camber-kulma	9
3.2 Caster-kulma	9
3.3 KPI	10
3.4 Aurauskulma	11
3.5 Kallistuskeskiö ja -akseli	12
3.6 Pyörän nyökkäyskeskiö ja -akseli	13
3.7 Painopiste	13
3.8 Akselin ominaisohjaus	14
4 JOUSITUSGEOMETRIAN ANALYSOINTI	15
4.1 Arvojen mittaus	15
4.2 Arvojen analysointi	16
4.2.1 Aurauskulma	16
4.2.2 Camber-kulma	18
4.3 Kehitettävät kohteet	19
4.3.1 Ohjausvaihteen sijainti, aurauskulmamuutos ja kääntökulma	20
4.3.2 Tukivarret ja camber-kulmamuutos	21
5 POHDINTA	22
LÄHTEET	23

LIITTEET

- Liite 1. Mittaustulokset 1.
- Liite 2. Mittaustulokset 2.
- Liite 3. Mittaustulokset 3.
- Liite 4. Mittaustulokset 4.
- Liite 5. Mittaustulokset 5.
- Liite 6. Mittaustulokset taulukoituina.

KUVAT

Kuva 1. Crosskart-ajoneuvo.	7
Kuva 2. Kääntökulmaongelma.	20

KUVIOT

Kuvio 1. Aurauskulman muutos joustoliikkeen funktiona.	17
Kuvio 2. Aurauskulman muutos puolittain joustoliikkeen funktiona.	18
Kuvio 3. Cambermuutos joustoliikkeen funktiona ajoalustaan nähden.	19

TAULUKOT

Taulukko 1. Ajoneuvon tekniset tiedot.	8
Taulukko 2. Moottorin tekniset tiedot.	8

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on tutkia olemassaolevan crosskart-ajoneuvon alkuperäistä etujousitusgeometriaa. Käytännössä oli havaittu ongelmia muun muassa pyörien kääntökulman sekä camber-kulma- ja aurasikulmamuuutosten suhteen. Pyrkimyksenä on selvittää jousituksen ongelmakohdat ja pohtia, mitä tulisi muuttaa, jotta kulmamuuutokset pysyisivät vähäisempinä ja kääntökulmaa saataisiin lisättyä.

Ensimmäiseksi esitellään tutkimuksen kohteena oleva ajoneuvo. Ajoneuvon esittelyn jälkeen kerrotaan kirjallisuuden perusteella selvitetystä alustageometriaan liittyvistä suureista ja näiden raja-arvoista. Mitataan erilaisia arvoja käyttäen nelipyöräsuuntauslaitetta sekä analysoidaan saatuja arvoja kirjallisuuspohjaan verraten. Lopuksi kerrotaan omia huomioita ja päätelmiä, joita työn aikana havaittiin ja tehtiin.

2 CROSSKART-AJONEUVO

Crosskart-ajoneuvo on putkirunkoinen pääasiassa jää- ja sora-alustoille tehty takavetoinen kilpa- ja hupiajoneuvo. Ajoneuvolta edellytetään siis kohtalaisen pitkiä joustovaroja.

Työn kohteena oli kotimaista valmistetta oleva crosskart-ajoneuvo (kuva 1). Kyseisiä ajoneuvoja on valmistettu neljä kappaletta yksityisen henkilön toimesta samoilla piirustuksilla. Jousitus on koottu sekalaisista tehdas- ja omavalmisteosista. Esimerkiksi etualatukivarret ovat Ford Escort mk3:sta peräisin. Etuheilahduksenvaimentimet, jouset ja etunavat ovat Yamahan YFZ450-mönkijästä. Takaheilahduksenvaimentimet ja jouset ovat Ford Fiesta mk3:sta kuten ohjausvaihdekin. Takanavat ja vetoakselit ovat BMW e34 -mallisarjan autosta. Veto vaihteistolta taka-akselille välitetään ketjulla ja ilman tasauspyörästä. Etuylätukivarret, vinotuet ylä- sekä alatukivarsiin ja takatukivarret ovat omavalmisteisia teräsputkiosia.



Kuva 1. Crosskart-ajoneuvo.

Tekniset tiedot

Crosscart-ajoneuvo on mitoiltaan melko kompakti ja huomattavasti pienempi kuin normaali henkilöauto (taulukko 1).

Taulukko 1. Ajoneuvon tekniset tiedot.

Rungon materiaali	Teräsputki (50mm*2mm)
Akseliväli	1900mm
Raideväli	edessä:1400mm takana:1700mm
Kokonaispituus	2100mm
Leveys	1500mm
Korkeus	1400mm
Maavara	270mm
Paino	400kg

Ajoneuvon voimalinja koostuu Kawasakin nelitahtisesta moottoripyöränmoottorista vaihteistoinen (taulukko 2).

Taulukko 2. Moottorin tekniset tiedot. (TMW.)

Valmistaja	Kawasaki
Tilavuus	599cm ³
Sylinterin halkaisija/isku	66,0mm/43,0mm
Teho	108,0hv/12000rpm
Vääntömomentti	65,7Nm/10000rpm
Puristussuhde	12,0:1

3 JOUSITUSGEOMETRIAN SELOSTUS

3.1 Camber-kulma

Camber-kulma on tärkeimpiä renkaan kaarrepitoon vaikuttavia tekijöitä ja sillä tarkoitetaan pyörän sivukallistumaa eli pyörän keskiviivan ja pystysuoran välistä kulmaa suoraan edestä tai takaa katsottuna. Camber-kulma on negatiivinen kun pyörä on kallistunut sisäänpäin eli pyörän yläreunan ollessa lähempänä auton keskilinjaa kuin alareunan. Kaarrepidon kannalta camber-kulmaa tulee tutkia suhteessa tiehen nähden. Yleensä kuitenkin jos camber-kulman sanotaan muuttuvan määrätyn verran negatiiviseen tai positiiviseen suuntaan joustoliikkeen aikana, tarkoitetaan kulman muutosta koriin nähden. (Mauno 1991, 6-7.)

Tässä työssä esitetyt kulma-arvot ovat nimenomaan koriin nähden mitattuja. Camber-kulma tulisi suunnitella siten, että täydellä korin kallistumalla ulkokaarteeseen puoleinen pyörä olisi tiehen nähden täysin suorassa. Tämä johtuu siitä, että kaarteessa ulkokaarteeseen puoleisen pyörän vaikutus pitoon on merkittävästi suurempi kuin sisäkaarteeseen puoleisen, koska ulkopuolella on pyöränkuorma suurempi. Lopullinen camber-kulman säätö on käytännössä helpointa suorittaa koeajon perusteella käyttäen apuna renkaan pinnan lämpötilan mittaamisen mahdollistavaa lämpömittaria. Renkaan ulko ja sisäreunojen lämpötilojen tulisi olla mahdollisimman tasaiset toisiinsa verrattuna. (Mauno 1991, 8-12.)

3.2 Caster-kulma

”Caster-kulmalla eli olkatapin etu- tai takakallistumalla tarkoitetaan olkatappilinjän ja pystysuoran välistä kulmaa auton sivuilta katsottuna” (Mauno 1991, 14). Varsinaista olkatappia ei nykyisissä autoissa enää käytetä. Pyörän ollessa tuettu kahdella päällekkäisellä tukivarrella, olkatappilinjalla tarkoitetaan

ylä- ja alapallonivelten välistä yhdyssuoraa. MacPherson-tuennassa olkatappilinja puolestaan on alapallonivelen ja joustintuen yläpään välinen yhdyssuora. Tällöin caster-kulma on tämän yhdyssuoran ja pystysuoran välinen kulma. Caster-kulma katsotaan positiiviseksi kun olkatappilinja on taaksepäin kallistettu eli linjan yläpää on alapäättä taaempaan. Eteenpäin kallistetun olkatappilinnan caster-kulma on negatiivinen. Negatiivisen casterin käyttö on harvinaista, muttei mahdotonta. Caster-kulmaan liittyy olennaisesti caster-jättämä, jolla tarkoitetaan etäisyyttä olkatappilinnan ja maan välisestä kuvitteellisesta kosketuspisteestä renkaan ja maan väliseen todelliseen kosketuspisteeseen. (Mauno 1991, 14.)

Caster vaikuttaa merkittävästi auton suuntavakavuuteen. Positiivinen caster aikaansaa pyörien asettumisen painopisteen kulkusuuntaan itsestään, eli auto kulkee suoraan pienemmillä ohjausliikkeillä ja ohjauksen palautus kaartein jälkeen on voimakasta. Suuntavakavuuden lisäksi positiivisella casterilla saavutetaan yleensä parempi ohjaustuntuma, pyörien vipotustaipumuksen pieneminen ja ulomman pyörän sortokulman pieneminen kaarreaajossa. Haittapuoleksi voidaan lukea vastaavasti vaadittavan ohjausvoiman kasvaminen eli usein tarve ohjaustehostimelle. Paremman ohjaustunnon kääntöpuolena ovat ohjauspyörään voimakkaina johtuvat iskut tienpinnan epätasaisuuksissa. Positiivista casteria käytettäessä voimantarvetta ja muita lieveilmiöitä voidaan vähentää niin sanotulla taakse vedetyllä olkatappilinjalla. Tällöin olkatappilinja kulkee pyörän keskipisteen takapuolelta ja näin casterjättämä on pienempi. Yleisimmin käytetyt caster-kulmat vaihtelevat välillä -1° ... 5° , mutta erikoissovelluksissa on jopa yli 10° :een castereita käytössä. (Mauno 1991, 15-16.)

3.3 KPI

KPI-kulma liittyy casterkulmaan läheisesti. Sillä tarkoitetaan olkatappilinnan sivukallistumaa eli pyörän kääntöakselin ja pystysuoran välistä kulmaa auton

edestä tai takaa katsottuna. Olkatappilinja on aina sisäänpäin kallistunut, joten positiivista ja negatiivista kulmaa ei tarvitse erikseen käsitellä.

KPI-kulma määrää pyörän kääntösäteen suuruuden. Kääntösäde on etäisyys kääntöakselin ja maan kosketuspisteen sekä renkaan ja maan kosketuskeskiön välillä. Pyöriä käännettäessä ne kääntyvät kääntöakselinsa ympäri. Tällöin suuri kääntösäde aiheuttaa suuren voimantarpeen ja pyöristä ohjauspyörälle kantautuvat iskut voimakkaita. Nykyautoissa käytetään jopa negatiivista kääntösädettä, jolloin kääntöakselin ja tien leikkauspiste on renkaan kosketuskeskiön ulkopuolella. Tällä pyritään saavuttamaan turvallisemmat jarrutusominaisuudet, koska jarrutuksen tapahtuessa toisen puolen pyörien ollessa pitävämmällä pinnalla pyörät pyrkivät kääntymään puoltamista vastaan. (Mauno 1991, 18-19.)

KPI-kulman vaikutus suuntavakavuuteen ja ohjausvoiman tarpeeseen on samankaltaista kuin caster-kulmalla. Kääntöakselin ollessa sisäänpäin kallellaan pyörien kääntäminen aikaansaa auton etupään nousemisen ylöspäin. Kori luonnollisesti pyrkii painollaan vastustamaan tätä liikettä. Irrotettaessa ote ohjauspyörästä kääntämisen jälkeen kori pyrkii laskeutumaan takaisin normaaliasentoon ja tällöin samalla kääntämään pyörät suoraan. Normaalisti käytetyt KPI-kulmat ovat suurusluokaltaan välillä 3° - 13° . KPI-kulmaan ei kilpa-autoissa juuri kiinnitetä huomiota vaan hyväksytään se arvo, joka camber- ja caster-kulmien säädön seurauksena syntyy. (Mauno 1991, 19-20.)

3.4 Aurauskulma

Pyörien aurauskulmasta puhutaan usein puhekielessä aurauksena ja harituksena. Aurauksella ja harituksella tarkoitetaan pyörien pitkittäisvinoutta auton pituusakseliin nähden. Pyörien etureunojen ollessa lähempänä toisiaan kuin takareunojen on kyse aurauksesta. Takareunojen ollessa lähempänä toisiaan on kyseessä negatiivinen auraus eli haritus. Aurauksen suuruus

ilmoitetaan sekä asteina että millimetreinä. Asteita käytetään yleensä suunnittelutilanteissa ja millimetriarvoa taas käytännön säätämisessä.

Auraukskulman tehtävä on lähinnä kumota camber-kulmasta johtuvat sivuvoimat sekä renkaiden vierinvastuksesta ja vetovoimasta aiheutuvat voimat. Voimatasapaino ei kuitenkaan tarkoita renkaan pinnassa vaikuttavien voimien häviämistä, eli esimerkiksi camberin aiheuttamaa renkaan epätasaista kulumista ei voida aurauksella ehkäistä. Auton ajettavuuden kannalta paras auraukskulma on löydettävissä vain kokeilemalla. Yleisenä ohjeena voidaan pitää sitä, että aurauksen suurentaminen parantaa suuntavakavuutta suoraan ajettaessa korkeilla nopeuksilla ja samalla muuttaa auton kaarrekäytöstä aliohjautuvampaan suuntaan. Aurauksen pienentäminen eli harittavampaan suuntaan säätäminen puolestaan muuttaa kaarrekäytöstä yliohjaavammaksi ja aiheuttaa suoraanajettaessa vaeltelua. (Mauno 1991, 20-23.)

3.5 Kallistuskeskiö ja -akseli

Jokaisella pyöräntuennalla on geometrinen mittojen perusteella määriteltävä kallistuskeskiö, jonka ympäri kori kiertyy sivuvoimien vaikutuksesta esimerkiksi kaarreajossa. Etu- ja takapyöräntuentojen kallistuskeskiöiden välille piirretty kuvitteellinen yhdyssuora on koko auton kallistusakseli. Korin kallistuman suuruus riippuu siitä, kuinka paljon kallistusakselin yläpuolella auton painopiste sijaitsee. (Mauno 1991, 33-34.)

Kallistuskeskiöiden korkeus ja siten kallistusakselin paikka vaikuttaa suuresti auton ajo-ominaisuuksiin. Keskiöiden ja akselin paikkaa muuttamalla voidaan auton käytöstä muuttaa hyvin runsaasti aliohjautumisen ja yliohjautumisen välillä. Esimerkiksi jos etupään kallistuskeskiö on alempana kuin takapään kallistuskeskiö ja auton painopiste sijaitsee suurinpiirtein akselien puolivälissä, aiheutuu korin kiertojäykkyydestä johtuen takapyörille suurempi painonsiirtymä sisemmältä ulommalle pyörälle ja täten auton käytös muuttuu yliohjaavammaksi. Kallistuskeskiöiden korkeuksien muuttaminen päinvastaisiksi aiheuttaa samallatavalla aliohjautumista. Kallistuskeskiöiden korkeuden

muuttaminen vaatii aina tukivarsien kiinnityspisteiden paikkojen muuttamista, joten keskiöiden paikkoja muutetaan käytännössä vain esimerkiksi silloin kun auto rakennetaan uusiksi kokonaan toisenlaista rakennetta käyttäen. (Mauno 1991, 34-35.)

3.6 Pyörän nyökkäyskeskiö ja -akseli

Samalla tavalla kuin akselilla on kallistuskeskiö, voidaan sille määrittää myös nyökkäys- ja niiauskeskiö. Nyökkäämisellä tarkoitetaan etupään laskemista jarrutuksen aikana ja niiauksella takapään laskemista kiihdytyksessä. Tukivarsigeometrian muuttaminen on käytännössä ainoa tehokas tapa nyökkäyksen ja niiauksen suuruuteen vaikuttamiseen. Kokonaispainoa alentamalla, painopistettä pudottamalla ja jousia jäykistämällä voidaan suorittaa vähäistä hienosäätöä. (Mauno 1991, 41.)

3.7 Painopiste

Jokaisella esineellä on oma painopisteensä, eli kohta johon painon voidaan kuvitella keskittyneen. Painopisteestä tuettuna auto on täysin tasapainossa asennosta riippumatta ja painopisteen sijainnilla on melko ratkaiseva merkitys auton käyttöön. Auton tyypistä ja käyttötarkoituksesta riippumatta painopisteen tulee sijaita niin alhaalla kuin kulloinkin on mahdollista. Ainoan poikkeuksen tähän sääntöön tekevät takavetoiset kiihdytysautot, joissa muiden ajo-ominaisuuksien kustannuksella on tärkeintä saada mahdollisimman suuri osa auton painosta siirtymään kiihdytysvaiheessa takapyörille.

Painopisteen alentaminen on tehokkaimmin toteutettavissa koria madaltamalla, toisin sanoen tuomalla koria lähemmäs maan pintaa. Tästä seurauksena on kuitenkin maavaran pieneneminen, joka ei esimerkiksi ralliautoissa ole tiettyä määrää enempää mahdollista. Korin madaltamista lukuun ottamatta mahdollisuudet painopisteen alentamiseen ovat vähäiset. Painopisteen alentamiseksi voidaan kaikki siirrettävissä olevat osat, kuten moottori, vaihteisto

ja polttoainesäiliö, laskea kiinnityspisteitä muuttamalla alemmas. Luonnollisesti mitä painavampi osa on, sitä suurempi vaikutus sillä on painopisteen sijaintiin. Painopisteen siirtämisellä pituusakselin suuntaisesti voitaisiin tehokkaasti vaikuttaa auton yli- ja aliohjautumiseen, mutta käytännössä mahdollisuudet tähän ovat vielä paljon pienemmät kuin painopisteen alentamiseen. (Mauno 1991, 28-30.)

3.8 Akselin ominaisohjaus

Ominaisohjauksella tarkoitetaan pyörien aurasikulmamuuutoksia niiden sisään- ja ulosjouston aikana. Pyörien kääntyminen kuljettajan tahdosta riippumatta joustoliikkeen aikana aiheutuu siitä, että raidetangon ulkopää liikkuu pyörän mukana ja sisäpää on kiinteästi auton rungossa kiinni. Ominaisohjaus tulisi saada niin vähäiseksi kuin mahdollista.

Mikäli ominaisohjaus todetaan liian suureksi, tapahtuu käytännössä sen säätäminen joko ohjausvaihteen paikkaa muuttamalla tai olkavarsia uudelleenmuotoilemalla. Ohjausvaihteen paikan muuttaminen ainakin vähäisissä määrin on yleensä melko helppoa käyttämällä kiinnityspisteissä shimilevyjä tai poistamalla ainetta ohjausvaihteesta tai kiinnityspisteistä.

Takapyörissä ominaisohjaus riippuu yksinomaan pyöräntuennan geometriasta. Autonvalmistajat käyttävät yleisesti takapyörien ominaisohjausta auton ohjautuvuuden hienosäätöön, joten ominaisohjaus takapäässä ei useinkaan ole tahatonta. Ulomman takapyörän kääntyminen sisäänjouston aikana auraavaan suuntaan aiheuttaa aliohjautuvuutta ja kääntyminen harittavaan suuntaan yliohjautuvuutta. (Mauno 1991, 80-82.)

4 JOUSITUSGEOMETRIAN ANALYSOINTI

4.1 Arvojen mittaus

Mittaus suoritettiin autokorjaamossa, Stenhøj-nelipilarinosturia ja sen akselikeyvennintä sekä vetoliinaa ja räikkäkivistintä apuna käyttäen. Varsinaiset mitta-arvot saatiin Hoffman Geoliner 550 PRISM -nelipyöräsuuntauslaitteella. Mittaukset suoritettiin ajoneuvo ajovalmiina tankit täynnä ja ilman kuljettajaa.

Ensin varmistettiin, että ajoneuvo on asettunut normaaliin ajoasentoonsa kuormittamalla jousitusta hetkellisesti yhden ihmisen painolla sekä etu- että taka-akselilla. Tämän jälkeen mitattiin rungon etäisyys keventimessä sijainneeseen kiintopisteeseen. Pyöränkulmien arvot tulostettiin tästä asennosta ensimmäisen kerran. Seuraavaksi määritettiin jousituksen maksimiulosjousto ja tulostettiin pyöränkulmien arvot maksimiulosjouston asennossa. Kolmantena mitattiin pyöränkulmien arvot maksimiulosjouston ja normaaliajoasennon puolivälistä eli 2,5 cm muutoksella kummastakin.

Tämän jälkeen ei enää käytetty keyvennintä apuvälineenä vaan kuormitettiin jousitusta vetämällä runkoa nelipilarinosturin ympäri kierrettyllä vetoliinalla ja räikkäkivistimellä. Runkoa vedettiin ensin 2,5 cm normaaliasennosta alaspäin ja otettiin kyseisesti tilanteesta pyöräkulmista tuloste. Seuraavaksi runkoa vedettiin vielä toiset 2,5 cm alaspäin, jolloin todettiin jousituksen olevan täyden sisäänjouston asennossa heilahduksenvaimentimien pohjatessa. Joustovaraksi saatiin mitattua siis 10,0 cm, symmetrisesti 5,0 cm normaalia-ajoasennosta kumpaankin suuntaan.

Mitattuja arvoja olivat camber-kulma sekä aurauskulma. Myös caster-kulma oli suunniteltu mitattavaksi, mutta käytettävissä olleesta nelipyöräsuuntauslaitteesta puuttui tämän mahdollistavat lisäpeilit. Muita edellisessä kappaleessa esiteltyjä suureita ei saatu mitattua. Kallistuskeskiöiden sijainnin määrittämiseksi rakenne olisi pitänyt mallintaa jollakin soveltuvalla 3D-mallinnusohjelmalla. Ominaisohjauksen määrittäminen

olisi ollut mahdollista esimerkiksi kuormittamalla jousitusta epätasaisesti enemmän toiselta puolelta kuin toiselta. Tällöin olisi voitu simuloida keinotekoisesti kaarreajotilannetta ja näin päätellä akselin ominaisohjauksen suuntaa ja määrää.

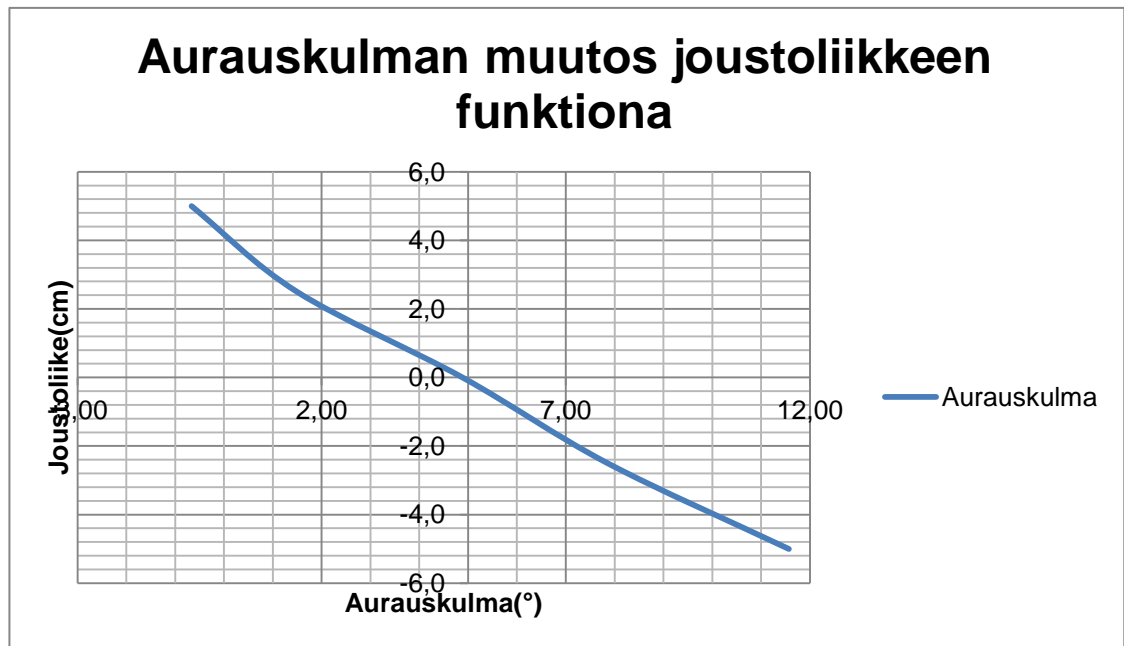
4.2 Arvojen analysointi

Mittaustuloksista voi päätellä kahden merkittävän alustasuureen, camber- ja aurauskulman, muutokset sekä mitä ne aiheuttavat. Kuviot 1-3 (ks. sivuilla 17,18 ja 19) perustuvat mittaustuloksiin, jotka ovat liitteissä 1-6.

4.2.1 Aurauskulma

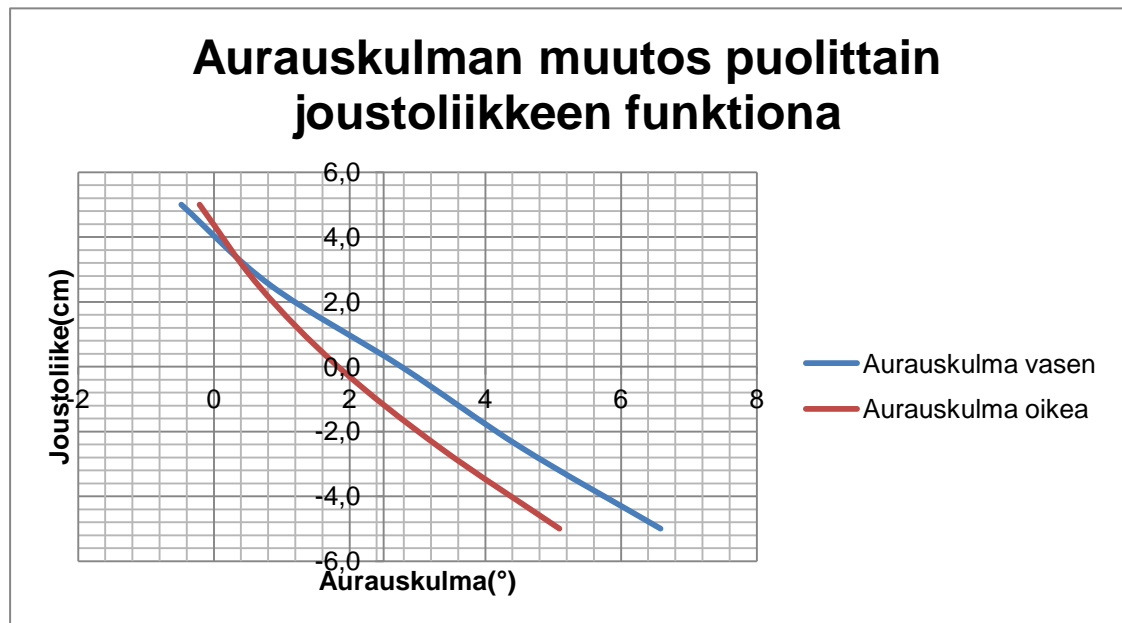
Mittauksissa havaittiin, että etenkin aurauskulma muuttuu joustoliikkeen aikaan erittäin paljon. Samalla todettiin myös, että aurauskulma oli säädetty melko suureksi lähtökohtaisesti. Kuviossa 1 näkyy kokonaisaurauksen muutos joustoliikkeen aikana. Kuvaajasta nähdään että ajoneuvon ollessa normaalissa ajoasennossa, aurauskulma on melkein 5°. Käytännön testeissä havaittiin tämän aiheuttavan epätasaisella pinnalla suoraan ajettaessa tarpeetonta vetelyä puolelta toiselle.

Aurauskulman muutos oli niin suuri, että sen pystyi havaitsemaan silmillä, kun runkoa vuorotellen nostettiin ja laskettiin rauhallisesti jousituksen ääriasennosta toiseen.



Kuvio 1. Auraskulman muutos joustoliikkeen funktiona.

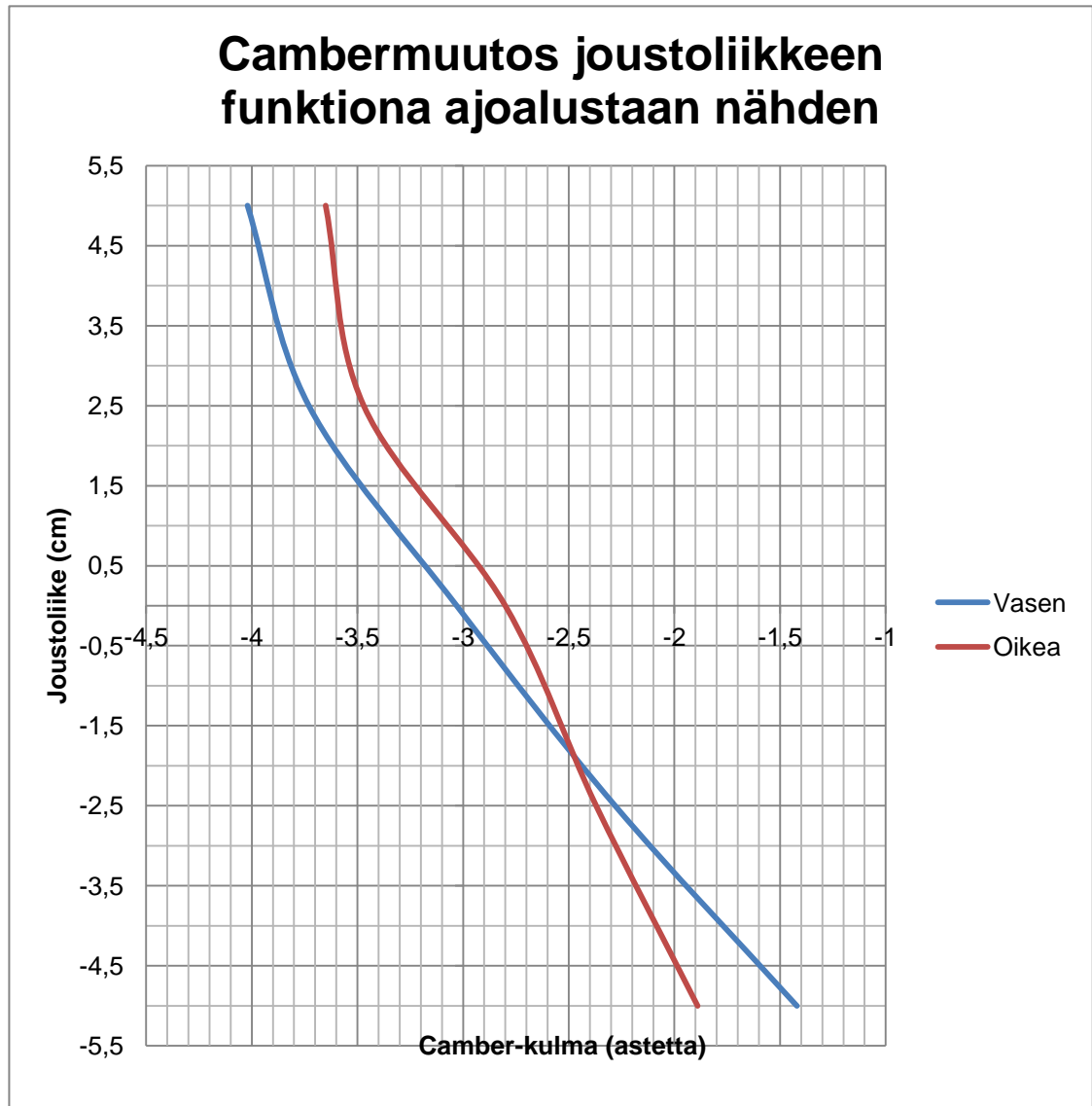
Auraskulman muutoksista sai tehtyä myös puolittain vastaavan kuvion. Siitä näkyy, että mittaustilanteessa pyörät eivät olleet täysin suorassa, koska kulmat eivät ole täysin yhtenevät. Muutokset kuitenkin tapahtuvat lähestulkoon lineaarisesti, eikä puoltien välillä ole suuria poikkeamia joustoliikkeen aikana. Muutokset näkyvät kuviossa 2.



Kuvio 2. Auraskulman muutos puolittain joustoliikkeen funktiona.

4.2.2 Camber-kulma

Toinen mitatuista suureista oli camber-kulma. Camber muuttui myös joustoliikkeen aikana paljon ja väärään suuntaan eli pyörät nousivat sitä pystympään, mitä enemmän sisäänjoustoa tapahtui. Jousituksen ala-asennossa pyörät ovat lähes pystysuorassa. Normaalissa ajoasennossa pyörissä on camberia $-3,0^\circ$. Tämä arvo on lähellä sitä, mihin tällaisessa ajoneuvossa tulisi tähdätäkin, käyttötarkoitus huomioiden. Camber-kulman muutos on nähtävissä kuviossa 3.



Kuvio 3. Cambermuutos joustoliikkeen funktiona ajoalustaan nähden.

4.3 Kehitettävät kohteet

Mittausten perusteella pystyttiin päättämään, että sekä aeraus- että camber-kulmamuuoksia tulisi saada vähennettyä.

4.3.1 Ohjausvaihteen sijainti, aurauskulmamuuotos ja kääntökulma

Aurauskulmamuuotokset tulisi siis saada kuriin. Tämä tapahtuisi käytännössä muuttamalla ohjausvaihteen paikkaa sopivampaan. Kun ohjausvaihde sijoitetaan päällekkäisessä kolmiotukirakenteessa oikein, aurauskulma ei juurikaan muutu joustoliikkeen aikana. Pienet muutokset ovat hyväksyttäviä, mutta ajoneuvossa nyt nähdyt yli 12°:n muutokset eivät ole.

Ohjausvaihde tulisi sijoittaa siten, että se on suoraan edestäpäin katsottuna samalla linjalla kuin jousituksen kallistuskeskiö. Tällöin aurauskulmamuuotos on mahdollisimman lineaarinen. (Milliken & Milliken, 634).

Lisäksi käytännössä on havaittu, että pyörien suurinta mahdollista kääntökulmaa tulisi lisätä. Ajoneuvo on nykyisellä rakenteella todella kankea, ja kääntöympyrä on liian suuri. Pyörien kääntymistä rajoittaa huonosti suunnitellut poikittaistukivarsien vinotuet, jotka näkyvät kuvassa 2. Ohjausvaihteessa itsessään olisi liikevaraa suuremmankin kääntökulman aikaansaamiseksi.



Kuva 2. Kääntökulmaongelma.

4.3.2 Tukivarret ja camber-kulmamuuotos

Camber-kulman muutokset tulisi saada tapahtumaan toiseen eli negatiiviseen suuntaan. Ajoneuvolla on tarkoitus ajaa kovavauhtista ajoa suljetulla alueella, sora- ja jääpinnalla, joten tavoitteena on saada etupyörille mahdollisimman hyvä pito kaarreajoa ja suuria kaarrenopeuksia silmälläpitäen. Tähän tarkoitukseen camber-kulman tulisi pysyä lähestulkoon samana kuin normaalitilanteessa tai muuttua negatiiviseen suuntaan. Nykyisen rakenteen ongelmalliset kulmamuuotokset aiheutuvat suurelta osin siitä, että ylätukivarsi on pidempi kuin alatukivarsi. Tällöin tapahtuu kuviosta 3 (ks. sivu 19) nähtävä ei toivottu muutos positiiviseen suuntaan.

Camber-kulman muutoksia oikeaan suuntaan voitaisiin edesauttaa suunnittelemalla tukivarret uudelleen niin, että ylätukivarresta tehdään hieman lyhyempi kuin alatukivarresta. Lisäksi muutosten suuruutta voitaisiin hillitä pidentämällä raideväliä nykyisestä, jolloin tukivarret voisivat olla kokonaisuutena pidemmät kuin nykyisessä rakenteessa. Tukivarsien kiinnityspisteet ovat vapaasti muokattavissa, koska ajoneuvo ei ole minkään autourheilulajin tai tieliikennelakien rajoitusten alainen. Kiinnityspisteitä suunniteltaessa voitaisiin määritellä myös caster-kulma täsmälleen halutun suuruiseksi sekä rakentaa sille säätömahdollisuus.

5 POHDINTA

Työhön olisi saanut lähes rajattomasti lisää laajuutta lisäämällä mittauksia esimerkiksi kallistamalla runkoa vuorotellen molempiin suuntiin ja täten simuloimalla kaarreajoa. Mittauksia olisi voinut suorittaa tällöin lisäksi myös erisuuruisilla pyörien kääntökulmilla samalla mitaten maksimikääntökulman nykyisen arvon. Kuitenkin jo nyt suoritetuilla mittauksilla voitiin todeta että nykyinen rakenne ei ole hyvä. Tarkoituksena on tämän työn tulosten pohjalta jatkossa suunnitella ja rakentaa etujousitus kokonaan uusiksi. Uutta rakennetta voidaan testata ennen rakentamista simuloimalla sen toimintaan mallinnusohjelmalla. Raja-arvot peruspyöräntökulmille, kuten camberille, casterille, kpi:lle sekä aurauskulmalle, saadaan tämän työn kirjallisista lähteistä. Lopulliset arvot pitää määrittää käytännön testeillä, jolloin myös ajoneuvon omistajan/kuljettajan havainnot mahdollisesti muuttuneesta ajokäytöksestä voidaan ottaa huomioon.

Mielenkiintoisen työstä teki oma harrastuspohja, jonka takia samoja asioita on tullut tutkittua aikaisemminkin. Nyt pääsi kuitenkin tutkimaan erityisesti nopeaa ajoa varten rakennettua ajoneuvoa ja sai todeta siinäkin olevan kehittämistä vaativia kohteita, jotka sai selville jo suoraan verrattaessa mitattuja arvoja kirjallisuudesta ja omasta kokemuksesta löytyneisiin tietoihin siitä, mitä niiden pitäisi olla.

Mitattuihin arvoihin saattoi hieman vaikuttaa oikeanpuoleisen alapallonivelen reiluhko vällys. Uutta niveltä ei kuitenkaan ollut tarkoituksenmukaista ostaa, koska kyseinen rakenne tultaisiin hylkäämään uudelleenrakennuksen yhteydessä, joten aiheutunut epätarkkuus mittaustuloksissa päätettiin hyväksyä.

LÄHTEET

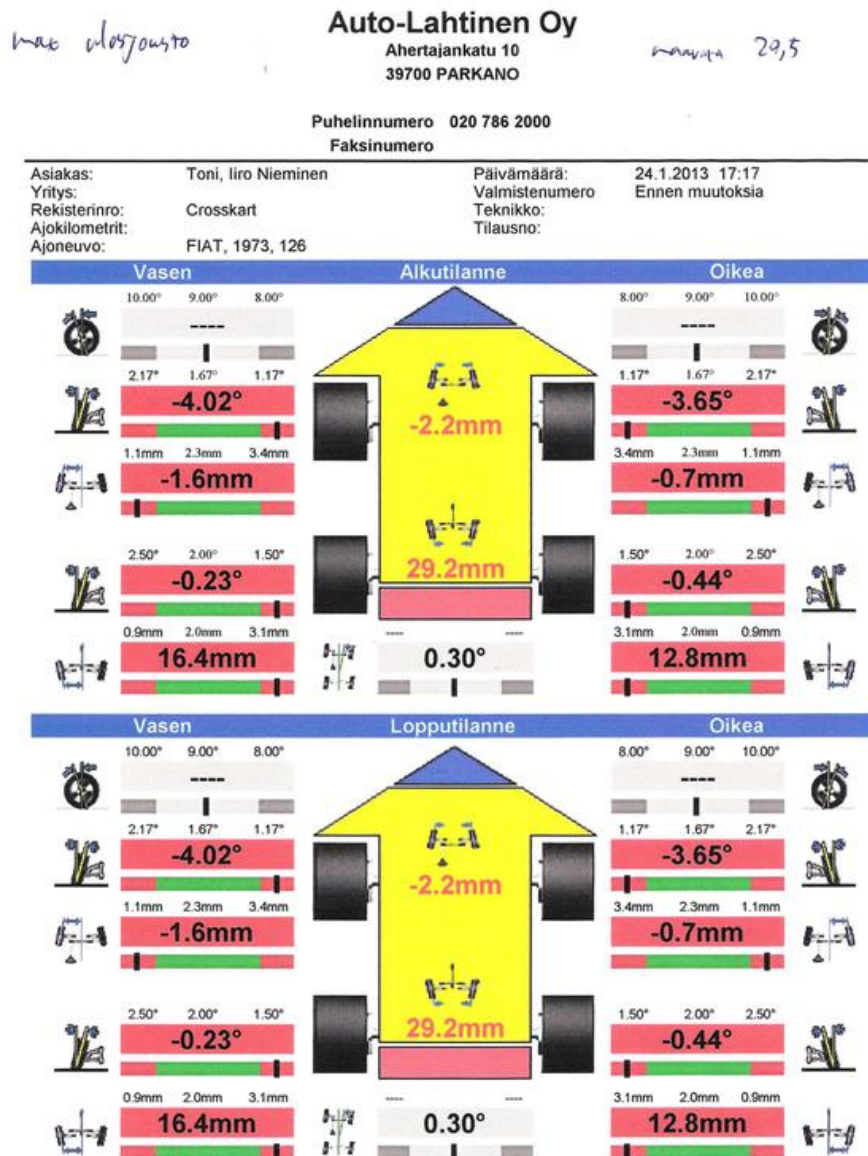
Mauno, E. 1991. Virittäjän käsikirja 2 Alusta. Helsinki: Alfamer Oy.

Milliken, W. & Milliken, D. 1995. Race car vehicle dynamics. SAE Publications Group.

TMW. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. 1998 Kawasaki ZX-6R Ninja. Saatavana: <http://www.totalmotorcycle.com/motorcyclespecshandbook/kawasaki/1998-kawasaki-ZX-6RNinja.htm> Viitattu 23.4.2013

Mittaustulokset 1

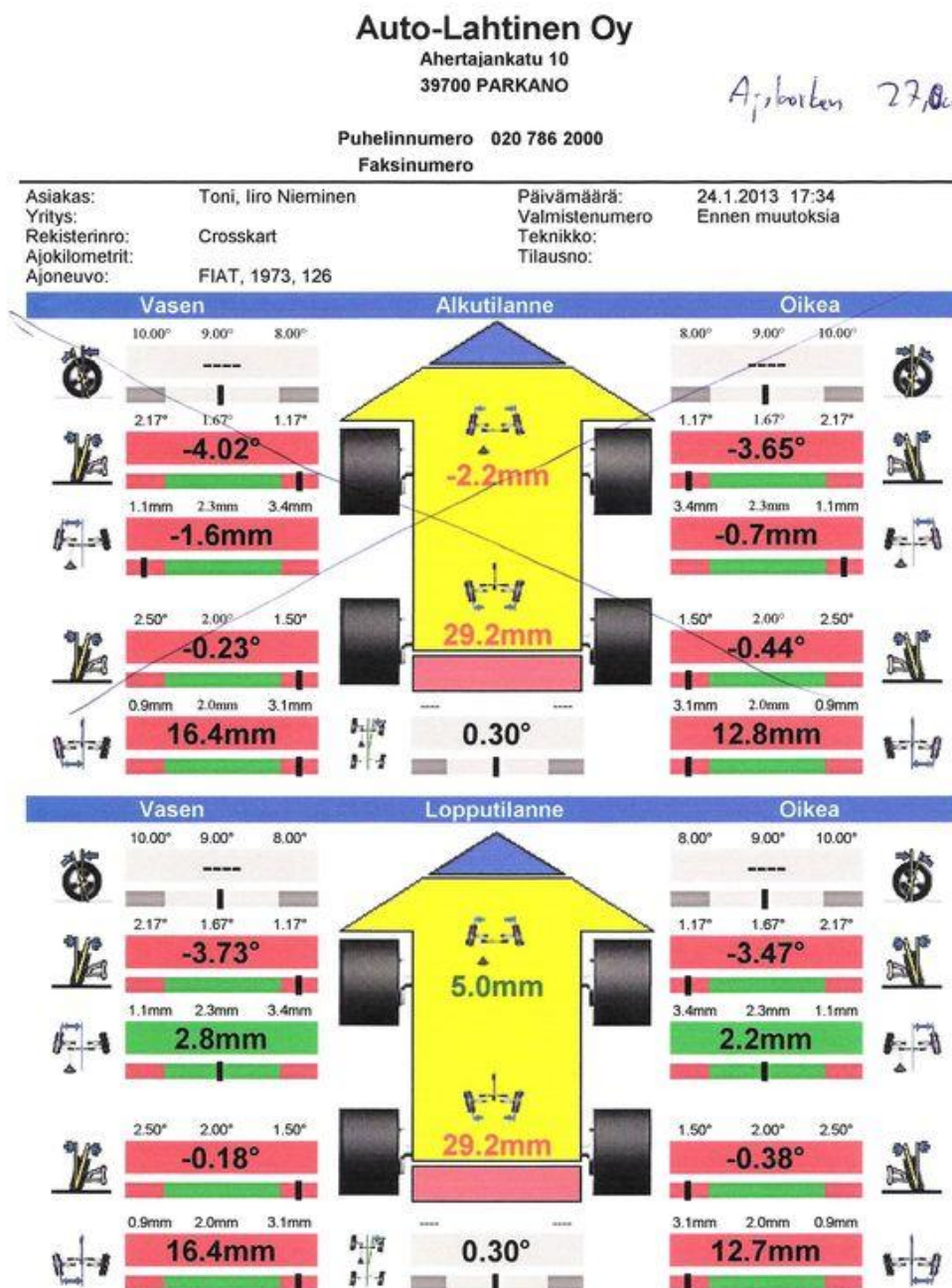
Mittaustulokset täyden ulosjouston asennossa +5,0cm normaaliajokorkeudesta.



Turvallista matkaa!

Mittaustulokset 2

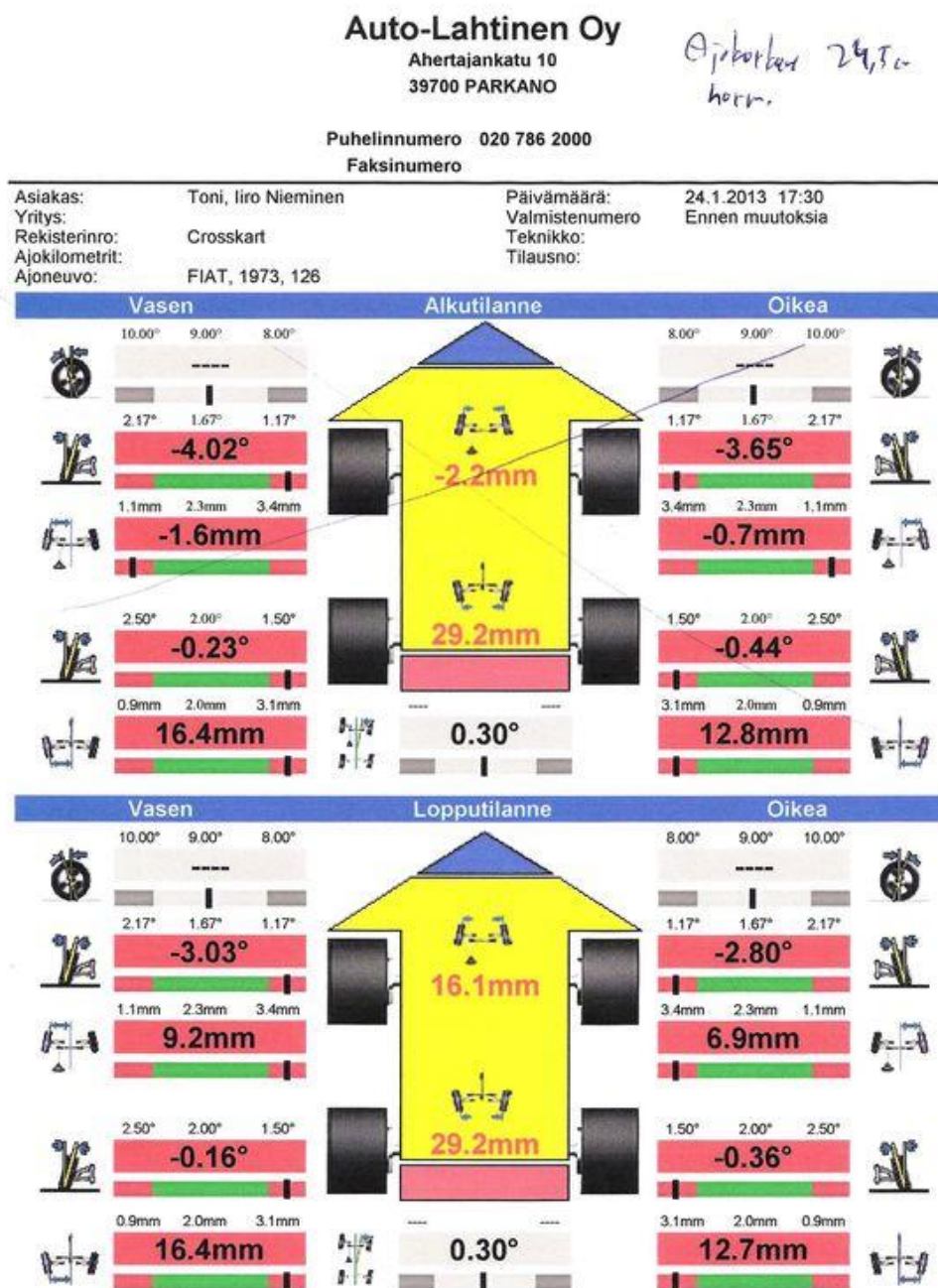
Mittaustulokset +2,5cm normaaliajokorkeudesta ulosjouston suuntaan.



Turvallista matkaa!

Mittaustulokset 3

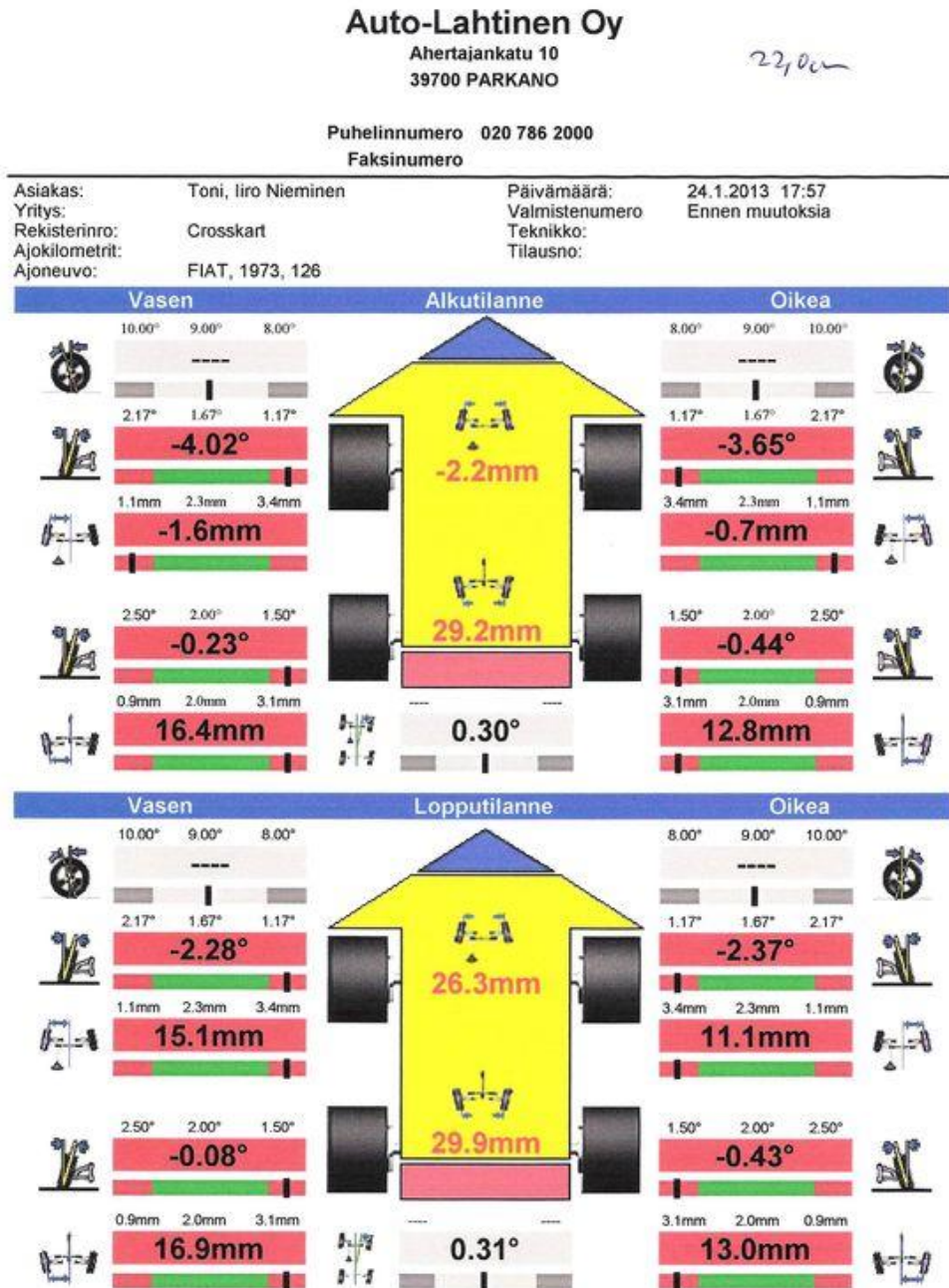
Mittaustulokset normaaliajokorkeudella.



Turvallista matkaa!

Mittaustulokset 4

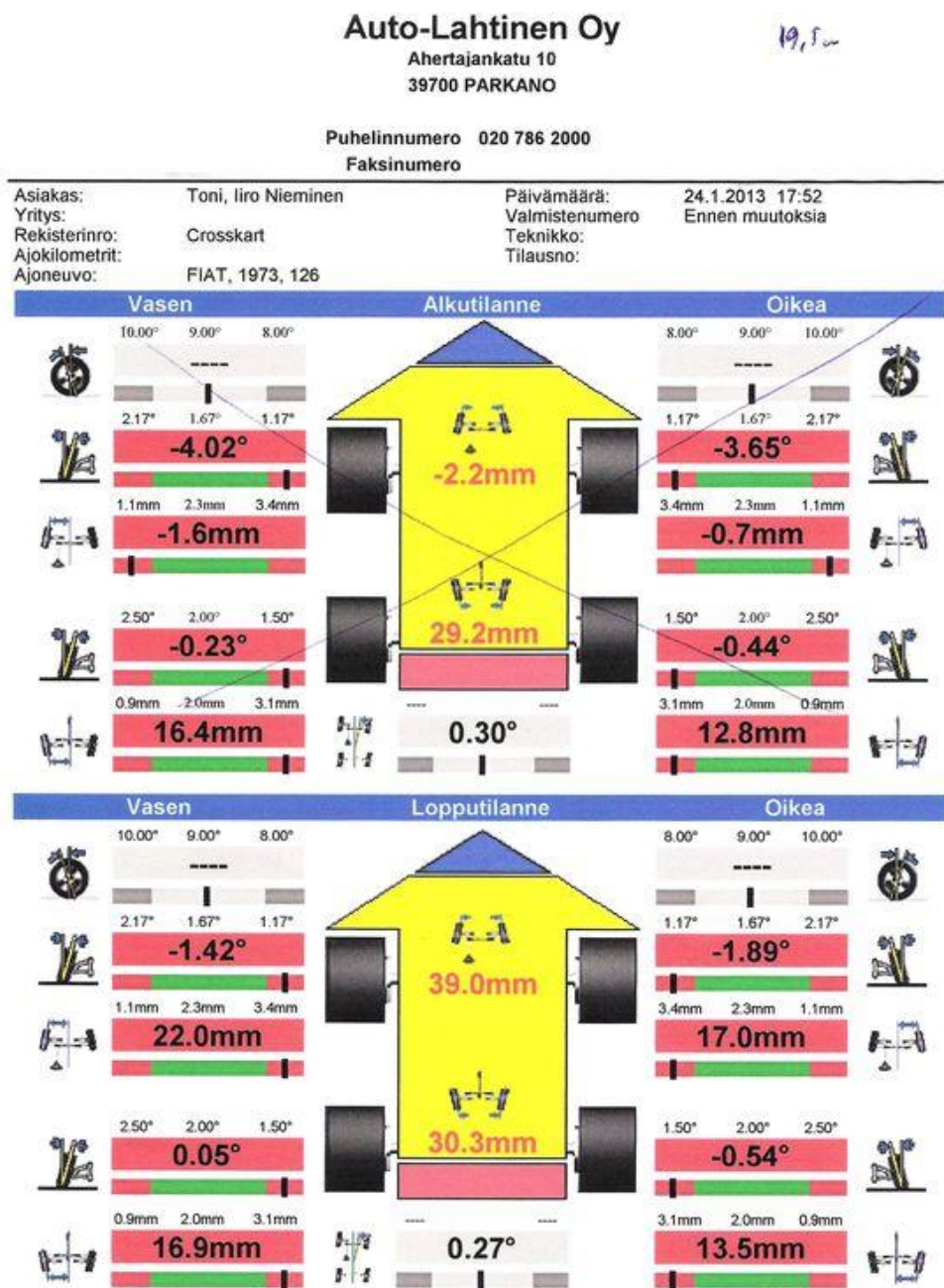
Mittaustulokset -2,5cm normaaliajokorkeudesta sisäänjouston suuntaan.



Turvallista matkaa!

Mittaustulokset 5

Mittaustulokset joustuksen maksimisisäänjoustolla, -5,0cm normaaliajokorkeudesta.



Turvallista matkaa!

Mittaustulokset taulukoituina

Ajokorkeus (mittaustilanteessa mitattuna keventimen kiinteään osaan, eli ei sama kuin maavara) muutettuna korin asemaksi, camber-arvot näiden suhteen

		camber		auraus					
Ajokorkeus (cm)	asema (cm)	vasen	oikea	kokonais	vasen	oikea	kok.ast.	vas.ast.	oik.ast.
19,5	-5,0	-1,42	-1,89	39,0	22	17	11,57	6,58	5,09
22,0	-2,5	-2,28	-2,37	26,3	15,1	11,1	7,86	4,53	3,33
24,5	0,0	-3,03	-2,80	16,3	9,2	6,1	4,89	2,76	1,83
27,0	2,5	-3,73	-3,47	5,0	2,8	2,2	1,50	0,84	0,66
29,5	5,0	-4,02	-3,65	-2,2	-1,6	-0,7	-0,66	-0,48	-0,21

sekä aurauksen millimetriarvot muutettuna asteiksi (15" vanne).